International Science Journal of Management, Economics & Finance
2022; 1(3): 66-75
https://isg-journal.com/international-science-journal-of-management-economics-finance/
doi: 10.46299/j.isjmef.20220103.5
ISSN: 2720-6394

СИНЕРГЕТИЧНА МОДЕЛЬ ДИНАМІЧНОГО СПІВІСНУВАННЯ СКЛАДОВИХ КОРУМПОВАНОГО СУСПІЛЬСТВА

Галина Великоіваненко[1], Юрій Коляда[1], Тетяна Кравченко[1], Володимир Кравченко[2]
[1]Кафедра математичного моделювання та статистики, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0001-6326-3965
https://orcid.org/0000-0003-2516-9817
https://orcid.org/0000-0002-1506-3595
[2]Кафедра інформатики та системології, Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0003-0113-7933
Електронна адреса: ivanenko@kneu.edu.ua, jukol48@ukr.net, ktv19@ukr.net, kvg1953@ukr.net.

Для цитування цієї статті:
Галина Великоіваненко, Юрій Коляда, Тетяна Кравченко, Володимир Кравченко. Синергетична модель динамічного співіснування складових корумпованого суспільства. International Science Journal of Management, Economics & Finance. Vol. 1, No. 3, 2022, pp. 66-75. doi: 10.46299/j.isjmef.20220103.5.
Надійшла до редакції: 16 липня 2022 р.; **Схвалено:** 24 липня 2022 р.; **Опубліковано:** 01 серпня 2022 р.

Анотація. У статті отримано систему динамічних рівнянь – економіко-математичну модель, якою описується нелінійна взаємодія суспільних факторів – рівень корупції, обсяг легальної економіки та владні рішення. Для створеної динамічної моделі розроблено у загальному випадку алгоритм обчислення координат нерухомих точок. Вказано функціональну матрицю Якобі для динамічної моделі та послідовність кваліфікації віртуальних сценаріїв розвитку подій. Отримано співвідношення, що дозволяють контролювати процес комп’ютерного моделювання.

Ключові слова: синергетична економіка, нелінійна економіка, темпоральність, динамічні рівняння, стійкість моделі, закон необхідної різноманітності, адаптивне моделювання, нерухома (особлива) точка, двостороннє оцінювання, функціональна матриця Якобі, якісний та кількісний аналіз, управління.

1. Вступ

Традиційно економічна наука належить до числа гуманітарних. Але на кінець 20 ст. – початок 21 століття вона характеризується експансією методів і підходів природничих наук з метою успішного розв’язання проблем реальної економіки. Словник економічного аналізу поповнився новими поняттями і термінами: нелінійна, нерівноважна економічна система необоротної дії, прямі та зворотні зв’язки полярних знаків, біфуркація, флуктуація, дисипація, когерентність, негентропія, динаміка економічного ризику тощо [1-6, 8, 10, 12, 14, 15].

Що спричинило зазначене вторгнення термінології природничих наук, їх здобутків до сфери ортодоксальної економічної діяльності?

Спершу зазначимо традиційні особливості економіки: наближеність статистичних даних, їх неповнота і невизначеність, чим зумовлюється ступінь ризику; перманентний дрейф параметрів; лаговий характер подій; також мають місце гетерогенні зв’язки між елементами і складовими [17, 18, 21]. Слід зауважити, що феноменологічний підхід у моделюванні економіки ґрунтується на застосуванні жорстких конструкцій, хоча об’єкти господарювання оцінюються як надскладні, котрим іманентно і онтологічно властиве розмаїття механізмів і процесів гнучкого перебігу подій [9, 22]. На цьому шляху свого розвитку спостерігається адаптивні та біфукативні механізми.

Економічне життя суспільства супроводжується:

а) періодами латентності, толерантності та загостренням режимів економічного стану або рецесії їх, які передбачити апріорі просто неможливо;

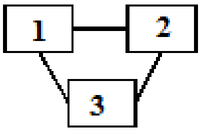
б) багатьма варіантами, як правило, звивистого шляху економічного розвитку, що достеменно пізнається моделюванням динаміки нелінійної еволюції.

Внаслідок взаємодії зазначених особливостей економіки суспільства спостерігається явище емерджентності, сутність якого передбачити або пізнати через натурний експеримент просто неможливо.

З іншого боку, на зламі тисячоліть потрясіння економічного життя світової спільноти вказали на неспроможність панівної теорії економічної рівноваги відповісти на виклики реальної економіки сьогодення. Під натиском реалій економічного буття дух лінійного мислення та рівноважності відходять на другий план. На зміну традиційного для економіки одновимірного поняття «причина – наслідок» прийшло розуміння, що одна структура може породжувати кілька функцій у фіксованому просторі [11-13, 17-22].

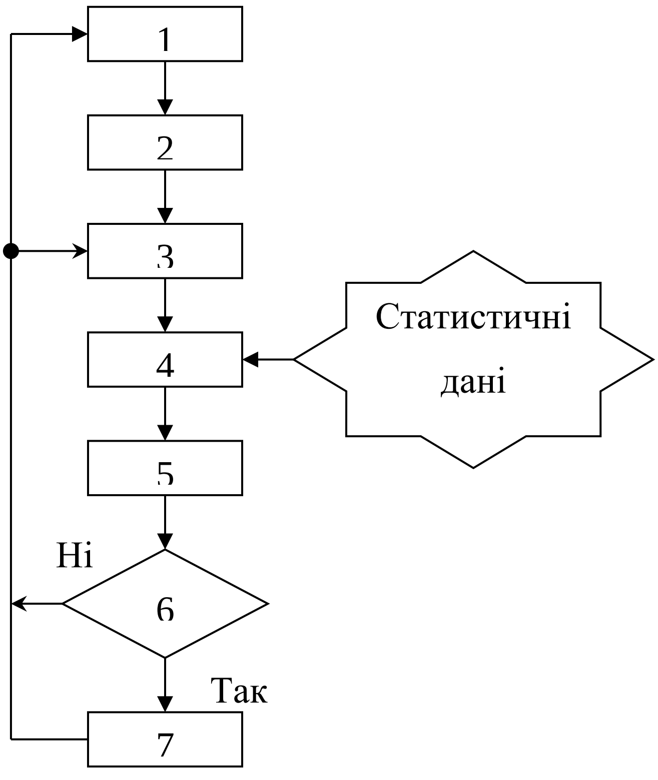
Проблеми глобальної економіки з інтенсивною нелінійною взаємодією складових потребують нового інструментарію їх вивчення, щоб отримати належні відповіді на поставлені запити як теоретичної, так і прикладної економіки. Важливою прикметою економічних взаємин нашого часу є практично одночасне отримання інформації усіма учасниками спільноти, при цьому спостерігається неухильно зростаючий інформаційний обсяг мислення. Звісно, успішне перебування на ринку товарів гарантується тому, хто адекватно реагує

на трансформаційні тенденції. Саме за таких умов відбувається становлення сучасного нелінійного економічного аналізу, результати якого вкрай потрібні для прийняття виважених управлінських рішень, формування засад економічної політики для будь-якого ієрархічного рівня господарювання.

Сучасну економічну теорію важко уявити без комп’ютерного моделювання перебігу процесів об’єктів господарювання. У літературі [2, 7, 9] відома тріада економіко-математичного моделювання 

, де блоку **1** належать концепти (принципологія і методика) отримання рівнянь моделей; блок **2** охоплює практику побудови й застосування моделей; блок **3** стосується теорії та методології моделювання проблем економіки, узагальнюючи здобутки і досягнення перших двох блоків.

Сутність і послідовність процесу комп’ютерного моделювання економічної системи зображено на рис. 1.



1) економічна теорія;
2) конкретна проблема об’єкта господарювання;
3) когнітивна модель проблеми як результат застосування теорії економіки і математики;
4) оцінювання коефіцієнтів моделі;
5) математична модель проблеми, її якісний і кількісний аналіз;
6) верифікація математичної моделі;
7) використання результатів моделювання у теоретичній та практичній економіці.

Рисунок 1. Глобальні зв’язки комп’ютерного економіко-математичного моделювання (обчислювальний експеримент в економіці)

Привертаємо увагу до полідисциплінарного вивчення нелінійної економіки. Моделювання – ітеративна процедура (зворотні зв’язки від блоків 6 і 7 на 3 і 1 рис.1), сутність якої така: існуюча теорія економічної науки способом моделювання досягає завершеності теоретичних поглядів (сходить на вершини знання).

Ітеративне комп’ютерне моделювання сприяє самовдосконаленню, самоорганізації знань, загалом повноті дослідження проблем економіки, характерною рисою якої є присутність швидкоплинних і повільних процесів – темпоральних складових, різноманітних і дуже нерівноважних, що постійно розвиваються.

Переваги обчислювального експерименту:

1) перевірити довільні припущення щодо можливої еволюції об’єкта господарювання;

2) окреслити межі застосування висловлених гіпотез;

3) провести оцінювання русла й розвитку економічних подій;

4) розглянути експериментальні й граничні економічні стани.

Принципова відмінність економічної системи від природничої (як доповнення до відомих характеристик) полягає в тому, що, по-перше, людиновимірна, а, по-друге, гетерархічна [18] в своїй змінюваності, спадковості та відбору (почережність атракторів і ділянок плавного розвитку). Саме ці відмінності сприяють, якщо не вимагають, появі комп’ютерного моделювання – конструктивного способу глибоко пізнання таїн світу нелінійної економіки. Лише у такий спосіб можливо отримати віртуальні відповіді на животрепетні питання: а) що є рушійною силою того чи іншого явища; б) чого варто чекати за певних умов.

Економічний світ – надскладний і нелінійний по своїй природі, де все пов’язане зі всім. Його дослідження підходами і методами точних наук та новітня методологія наукового пошуку призвело до поняття синергетична економіка [1, 6, 12, 21] (або економічна синергетика на кшталт відомого терміну, пов’язаного з кібернетикою).

Найбільш вражаючий фактор синергетичного підходу у вивченні динаміки (тенденцій та закономірностей) нелінійної економічної еволюції проявляється в тому, що позбавляємось сумнозвісного «прокляття вимірності» (термін Р. Беллмана), розв’язуючи задачі рівноважної економіки.

Зміст синергетичного моделювання полягає [1, 20, 22] у наступному: а) розробляється динамічна модель мінімальної розмірності, як правил три-чотири рівняння; б) досліджується отримана синергетична модель на стійкість; в) різноманіття розв’язків нелінійної моделі (звичайний атрактор, коливний рух, граниичні цикли, дивний атрактор) відповідає шляху можливого економічного розвитку (динамічній траєкторії); г) параметричний портрет розбиває простір скалярних коефіцієнтів на підобласті, кожна з яких має свій фазовий портрет, причому перетин межі між підобластями вказує на різновиди динамічних режимів економічного стану; д) втрата стійкості синергетичної моделі буває м’якою (початковий і кінцевий економічні стани сутнісно не різняться) і жорсткою (має місце реструктуризація взаємозв’язків елементів системи, їх взаємовпливів поодинці або в сукупності); е) перехідні процеси, пов’язуючи минуле з теперішнім, також вказують на вплив невідомого майбутнього на нинішній стан – фундаментальна теза синергетики: вони відбуваються плавно і

стрибкоподібно через фазові переходи (першого роду – локальна дія; другого роду – деформація системи, не порушуючи її цілісності із збереженням базових системотвірних характеристик); форма перехідного процесу (з-за ендогенної причини – критична ситуація, криза; коли екзогенна причина, то – катастрофа); ж) існують порогові (або критичні) значення числових коефіцієнтів нелінійної динамічної моделі, в околі яких принципово міняється режим функціонування.

Внаслідок ієрархічної та технологічної складностей досліджуваної системи також може з'являтися хаотичний рух.

Долучаючи наукові здобутки синергетики, її методологію, розробляються: а) системна парадигма вивчення реального світу економіки; б) нелінійне наукове економічне мислення.

На завершення огляду робіт, пов'язаних з ідеографією синергетичної економіки як могутнього інструменту моделювання, слід наголосити, що повнота дослідження (спектр майбутніх наукових результатів) починається з розроблення математичної моделі динаміки функціонування економічної системи (об'єкта господарювання).

Принагідно нагадати постулат теорії систем – закон Ешбі про необхідну різноманітність, котрий у нашому випадку формулюється [21] так: розроблення системи синергетичного моделювання, спроможної подолати спектр труднощів пізнання траєкторій нелінійної економіки, вимагає, щоб потужність множини моделей і алгоритмів їх вивчення була більшою різноманітності труднощів, цебто їх спектр покривався набором відповідних інструментів. Маючи таку множину, одразу постає питання гнучкого і доцільного застосування інструментарію комп'ютерного моделювання проблем нелінійної економіки. На кафедрі «Математичного моделювання та статистики» КНЕУ ім. Вадима Гетьмана започатковано і розвивається адаптивне комп'ютерне моделювання нелінійної економічної динаміки, яким передбачається послідовне здійснення етапів якісного, кількісного аналізу та апостеріорного розрахунку ризику економічної динаміки. Зокрема, має місце проблемно-орієнтована адаптація, яка за змістом є цілеспрямована (раціональна і релевантна) перебудова структури моделювання та варіація ключових параметрів математичної моделі об'єкта дослідження. Цебто морфологія і генезис зазначеного способу моделювання ініціалізуються апостеріорною інформацією процесу обчислень або апріорними даними.

Наостанок ще раз наголосимо, що адаптивне комп'ютерне моделювання динамічних проблем нелінійної економіки починається з адекватної математичної моделі.

2. Виклад основного матеріалу

Реальне економічне життя суспільства будь-якого укладу супроводжується корупцією – негативним явищем, з яким бореться влада, сприяючи зростанню обсягу офіційної економіки.

Введемо позначення: рівень корупції описується змінною $N_1 = N_1(t)$, обсяг легальної (офіційної) економіки – $N_3 = N_3(t)$, дієвість владних рішень – $N_4 = N_4(t)$, де час t – незалежна змінна, причому неперервні функції $N_1(t)$, $N_3(t)$, $N_4(t)$ володіють першою похідною, наприклад $\frac{dN_1}{dt}$ і т. д. На підґрунті способу головних пропорцій і принципу білінійної взаємодії змінних [8, 11, 19, 21] записується динамічні рівняння

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = c_0 - c_1N_1 - c_4N_4N_1; \\ \frac{dN_3}{dt} = c_3N_3 - c_1N_1N_3 + c_4N_4N_3; \\ \frac{dN_4}{dt} = -c_4N_4 + c_5N_1N_3N_4 \end{cases} \quad (1)$$

синергетичної моделі взаємного функціонування і взаємовпливу трьох рушійних факторів суспільного життя. Розглянемо швидкість зростання рівня корупції у суспільстві: стала c_0 відтворює незаперечний факт схильності службовця до протиправного діяння; другий доданок $(-c_1N_1)$ показує, що сама по собі корупція, як згубне явище, повинна зникнути; цьому також сприяє влада своїми рішеннями – доданок $(-c_4N_4N_1)$.

Зросту обсягу легальної економіки, яка може існувати самостійно, сприяють члени (c_3N_3) і $(c_4N_4N_3)$ другого рівняння моделі (1). Але швидкість цього процесу гальмується з-за витрат на корупцію, що відтворюється доданком $(-c_1N_1N_3)$.

Владні рішення не можуть існувати самі собою – доданок $(-c_4N_4)$, але вони стимулюються членом $(c_5N_1N_3N_4)$ третього рівняння динамічної моделі (1) – взаємодією рушійних факторів суспільства.

Структура динамічних рівнянь моделі (1) дозволяє наближено оцінити поведінку змінних. Дійсно, перше рівняння записується у вигляді нерівності $\frac{dN_1}{dt} \geq -c_1N_1 - c_4N_4N_1$, нехтуючи сталою c_0. Далі ланцюжок перетворень: $\frac{dN_1}{N_1} \geq (-c_1 - c_4N_4) \cdot dt$; $\ln N_1|_0^t \geq \int_0^t (-c_1 - c_4N_4) \cdot dt$; надає оцінку знизу $N_1(t) \geq N_1(0) exp\left\{\int_0^t (-c_1 - c_4N_4)\ d\tau\right\}$.

В той же час для першого рівняння моделі (1) справедлива нерівність $\frac{dN_1}{dt} \leq c_0$. Звідки випливає оцінка згори $N_1(t) \leq c_0t$. Як наслідок, отримується подвійна нерівність $N_1(0) exp\left\{\int_0^t (-c_1 - c_4N_4)\ d\tau\right\} \leq N_1(t) \leq c_0t$ для рівня корупції.

Друге рівняння синергетичної моделі (1) переписується так: $\frac{d}{dt}(ln N_3) = c_3 - c_1N_1 + c_4N_4$; $\ln N_3|_0^t = \int_0^t (c_3 - c_1N_1 + c_4N_4)\ d\tau$; $\ln\left(\frac{N_3(t)}{N_3(0)}\right) = \int_0^t (c_3 - c_1N_1 + c_4N_4)\ d\tau$; остаточно $N_3(t) = N_3(0) exp\left\{\int_0^t (c_3 - c_1N_1 + c_4N_4)\ d\tau\right\}$. Оцінка з гори має вигляд $N_3(t) \leq N_3(0) exp\left\{\int_0^t (c_3 + c_4N_4)\ d\tau\right\}$.

Аналогічно діючи, з третього рівняння синергетичної моделі (1) отримується рівність $N_4(t) = N_4(0)exp\left\{\int_0^t(-c_4 + c_5N_1N_3)\ d\tau\right\}$, звідки випливає оцінка згори для обсягу легальної економіки $N_4(t) \leq N_4(0)exp\left\{\int_0^t(c_5N_1N_3)\ d\tau\right\}$.

Домноживши перше рівняння синергетичної моделі (1) на величину N_3, а друге – на N_1 та додавши результати, отримується динамічне рівняння $\frac{d}{dt}(N_1N_3) = c_0N_3 - c_1N_1N_3 + c_3N_3N_1 - c_1N_1^2$, з якого випливає подвійна нерівність $(-c_1N_1N_3 - c_1N_1^2) \leq \frac{d}{dt}(N_1N_3) \leq c_0N_3 + c_3N_3N_1 \leftrightarrow \frac{d}{dt}\left(-c_1 - c_1\frac{N_1}{N_3}\right) \leq \frac{d(N_1N_3)}{N_1N_3} \leq dt\left(\frac{c_0}{N_1} + c_3\right)$.

Інтегруванням останнього виразу отримується двостороння оцінка

$$exp\left\{\int_0^t\left(-c_1 - c_1\frac{N_1}{N_3}\right)\ d\tau\right\} \leq \frac{N_1(t)N_3(\mathrm{t})}{N_1(0)N_3(0)} \leq exp\left\{\int_0^t\left(\frac{c_0}{N_1} + c_3\right)\ d\tau\right\}.$$

Якщо прийняти до уваги, що справедливо $N_1 \ll N_3$ і $c_0 \sim N_1$, то має місце нерівність $e^{-c_1t} \leq \frac{N_1(t)N_3(\mathrm{t})}{N_1(0)N_3(0)} \leq e^{(1+c_3t)}$.

Отримані вище двосторонні оцінки допомагають здійснювати контроль за процесом комп'ютерного моделювання на підставі синергетичної моделі (1) – побудовою віртуальних сценаріїв взаємодії рушійних сил корумпованого суспільства.

Згідно методики [21] якісного вивчення динамічної моделі спершу розраховується координати нерухомих (стаціонарних) точок, покладаючи $\frac{dN_1}{dt} = \frac{dN_3}{dt} = \frac{dN_4}{dt} = 0$. Отже, розглядається нелінійна система алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} c_0 - c_1N_1 - c_4N_4N_1 = 0 \\ c_3N_3 - c_1N_1N_3 + c_4N_4N_3 = 0 \\ -c_4N_4 + c_5N_1N_3N_4 = 0\,. \end{cases} \tag{2}$$

З першого рівняння моделі (2) знаходиться вираз $N_1 = \frac{c_0}{\mathrm{c}_1 + c_4N_4}$ стосовно рівня корупції, який має падати з-за дій влади.

З третього рівняння послідовно маємо: $c_5N_1N_3N_4 = c_4N_4$; оскільки $N_4 \neq 0$, то $N_1N_3 = \frac{c_4}{c_5}$, звідки $N_3 = \frac{c_4}{c_5} \cdot \frac{c_1 + c_4N_4}{c_0}$. Владні рішення сприяють зросту обсягу економіки.

З другого рівняння моделі (2) випливає: $N_3(c_3 - c_1N_1 + c_4N_4) = 0$; $c_3 - c_1\frac{c_0}{c_1 + c_4N_4} + c_4N_4 = 0$; після алгебраїчних перетворень остаточно маємо зведене квадратне рівняння

$$N_4^2 + \frac{c_3 + c_1}{c_4}N_4 + \frac{c_1(c_3 - c_0)}{\mathrm{c}_4^2} = 0.$$

Отже, послідовність обчислення координат нерухомих точок:

а) шукаються корені зведеного квадратного рівняння, які є координатами для змінної N_4;

б) розраховуються координати для N_3;

в) знаходяться координати для N_1.

Наступний крок – записується функціональна матриця Якобі:

$$J = \begin{bmatrix} -c_1 - c_4N_4 & 0 & -c_4N_1 \\ -c_1N_3 & c_3 - c_1N_1 + c_4N_4 & c_4N_3 \\ c_5N_3N_4 & c_5N_1N_4 & -c_4 + c_5N_1N_3 \end{bmatrix},$$

елементи якої є частинні похідні рівнянь моделі (2). Для тривіальної нерухомої точки $N_1 = N_3 = N_4 = 0$ функціональна матриця стає дійсною

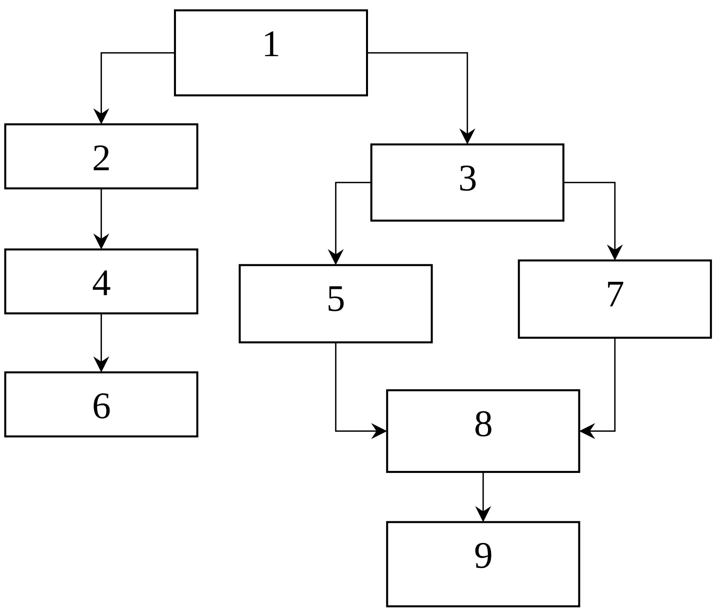
$$\text{A} = \begin{bmatrix} -c_1 & 0 & 0 \\ 0 & c_3 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 \end{bmatrix},$$

характеристичне рівняння $det|\text{A} - \lambda E| = 0$, якої записується

$$\begin{bmatrix} -c_1 - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & c_3 - \lambda & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 - \lambda \end{bmatrix} = 0,$$

в розгорнутому вигляді $(c_1 + \lambda)(c_3 - \lambda)(c_4 + \lambda) = 0$. Його корені: $\lambda_1 = -c_1$, $\lambda_3 = c_3, \lambda_4 = -c_4$, знаки яких залежать від коефіцієнтів синергетичної моделі (1). Якщо корені дійсні й від'ємні, то динамічні траєкторії стійкі. Загалом класифікація траєкторій поведінки моделі (1) наводиться в монографії [21].

Алгоритм так званого м'якого моделювання (якісного дослідження) нелінійної економічної системи зображено на рис. 2.



1 – поведінка нелінійної динамічної системи економіки;
2 – аналіз статичного режиму;
3 – аналіз перехідного процесу;
4 – особливі (стаціонарні) точки;
5 – фазові портрети;
6 – стійкість особливої точки;
7 – параметричний і структурний портрети;
8 – характерні ознаки поведінки (періодичні, квазіперіодичні й хаотичні коливання; граничні цикли);
9 – індикатори поведінки (показники Ляпунова, відображення Пуанкаре).

Рисунок 2. Схема дослідження динаміки нелінійної економічної системи

Наступним кроком комп'ютерного моделювання проблем нелінійної економіки є етап кількісного аналізу синергетичної моделі (1) – розроблення віртуальних сценаріїв розвитку подій у суспільстві для різноманітних стартових умов, пропозицій та поглядів стосовно можливої еволюції.

3. Висновки

У вступі до статті проаналізовано походження синергетичної економіки в контексті викликів економічного сьогодення. Виокремлено її етапи в сенсі комп'ютерного моделювання проблем нелінійної економіки, що привело до поняття обчислювальна економіка. Зазначено полідисциплінарний характер синергетичного вивчення, яким досягаються здобутки, долаючи численні труднощі моделювання систем, що неупинно розвиваються. Проголошується особлива роль динамічних рівнянь синергетичної моделі у встановленні тенденцій та закономірностей нелінійної економічної еволюції. З'ясована сутність адаптивного наповнення економічної синергетики.

У якості основного матеріалу побудовано синергетичну модель співіснування рушійних чинників (рівень корупції, обсяг легальної економіки, управління з боку влади) суспільства. Отримано наближені двосторонні оцінки (знизу і згори) для факторів розвитку суспільства, котрі дозволяють контролювати процес комп'ютерного моделювання, роблячи його керованим. Розроблено алгоритм пошуку координат нерухомих точок, що потрібно для здійснення процедури якісного моделювання, яке розглянуто на прикладі тривіальної нерухомої (особливої) точки. Наступним кроком є етап кількісного аналізу синергетичної моделі (1) – розроблення множини віртуальних сценаріїв розвитку подій у суспільстві для різноманітних стартових умов (пропозицій та поглядів щодо можливої еволюції).

Загалом широкомасштабний обчислювальний експеримент в економіці слід розцінювати як своєрідну експериментальну установку нового типу, результатом якої є сценарії нелінійної економічної еволюції. Звісно, вербально, за рахунок інтуїції, результати такого роду не отримати.

Наостанок зауважимо, що потенційно стаття відображає той факт, що програмна реалізація методів і підходів синергетичної економіки – створення пакетів прикладних програм відповідає сутності цифрової економіки, котра нині перебуває на слуху в середовищі економістів.

Література:

1) Занг В. Б. Синергетическая экономика: Время и перемены в нелинейной экономической теории. – М.: Мир, 1999. – 380 с.

2) Баранцев Р. Г. Синергетика в современном мире. – М.: Едиторнал, УССР, 2003. – 144 с.

3) Пу Т. Нелинейная экономическая динамика. – М.: Инжевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2000. – 198 с.

4) Делокаров К. Х. Системная парадигма современной науки и синергетики // Общественные науки и современность – 2000. - № 6. – С. 110-118.

5) Мочерний С. Синергетичний перехід в економічному дослідженні // Економіка України. – 2001. – № 5. – С. 44-51.
6) Методы эволюционной и синергетической экономики в управлении: (Монография) / В. А. Довлятовский, А. И. Касаков, И. К. Коханенко. – Отрадная: РГЭУ – ИУБ и П, 2001. – 577 с.
7) Клейнер Г. Б. Экономико-математическое моделирование и экономическая теория // Экономика и математические методы. – 2001. – Т. 37. – № 3. – С. 111-126.
8) Милованов В. П. Неравесные социально-экономические системы: синергетика и самоорганизация. – М.: УРСС, 2001. – 263 с.
9) Лебедев В. В. Математическое и компьютерное моделирование экономики / В. В. Лебедев, К. В. Лебедев. – М.: НВТ Дизайн, 2002. – 256 с.
10) Нусратуллин В. Экономический анализ с позиций неравновесия, синергетики и кибернетики // Общество и экономика. – 2004. – № 9. – С. 5-28.
11) Вольтерра В. Математическая теория борьбы за существование / В. Вольтера. – М.: ИКИ, 2004. – 288 с.
12) Милованов В. П. Синергетика и самоорганизация: экономика. Биофизика – М.: Ком Книга, 2005. – 168 с.
13) Михалевич М. В. Моделирование переходной экономики: модели, методы, информационные технологии / М. В. Михалевич, И. В. Сергиенко. – К.: Наук. думка, 2005. – 670 с.
14) Егоров Д. Г. Зачем экономике синергетика? / Д. Г. Егоров, А. В. Егорова // Общественные науки и современность. – 2006. – № 3. – С. 149-154.
15) Евстигнеева Л. П. Методологические основы экономической синергетики: научный доклад / Л. П. Евстигнеева, Р. Н. Евстигнеев. – М.: Ин-т экономики РАН, 2007. – 64 с.
16) Симо К. Изучение динамических систем с использованием компьютера // Нелинейная динамика. – 2006. – Т.2 – С. 243-254.
17) Вітлінський В. В. Зміна парадигми в сучасній теорії економіко-математичного моделювання / В. В. Вітлінський, А. В. Матвійчук // Економіка України – 2007. – №.11. – С. 35-43.
18) Крівцун Л. А. Структурні зрушення в нерівноважних економічних системах: (Монографія) – Харків: НТУ «ХПІ», 2007. – 428 с.
19) Куснер Ю. С. Принципы движения экономической системы / Ю. С. Куснер, И.Г. Царев. – М.: Физматлит, 2008. – 193 с.
20) Коляда Ю. В. Синергетичне моделювання економічного стану суспільства // Економіка і держава. – 2010. – № 4. – С. 28-31.
21) Коляда Ю. В. Адаптивна парадигма моделювання економічної динаміки: монографія / Ю. В. Коляда. – 2-ге вид. перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2019. – 367 с.
22) Комп'ютерне дослідження динамічних моделей економіки: Навч. посіб. / Ю. В. Коляда, Т. В. Кравченко, В. І. Трохановський / За гол. ред. Г. І. Великоіваненко – К.: КНЕУ, 2021. – 262, [2] с.